

落石誘因としての樹木根を介した 風による地盤振動

杉井俊夫, 浅野憲雄, 余川弘至, 市川夏輝*

Study on Ground Vibration Caused by the Wind through Trees Roots as the Cause of Rockfall

Toshio SUGII, Norio ASANO, Hiroshi YOKAWA and Natsuki ICHIKAWA*

Geological feature, topography properties and climatic condition overlap variously, and the falling rock damage occurs. There are few studies on wind that is one of the inciting cause. Therefore we paid our attention to wind. It is a thought to be mechanism to cause ground vibration because wind goes through a tree. Focus on my attention to the wind and the relations of the tree by measuring the vibration that influence of the wind to shake a tree gave for ground vibration. The result clarified the distance from a tree and directional correlation with tree vibration caused by the wind giving vibration on the ground. In addition, I clarified it about the difference of the ground characteristic by the kind of the ground by measuring it on the ground where varied in the earth and sand ground and the bedrock ground.

Keywords : *Ground vibration, Wind, Tree root, Rock fall*

1. はじめに

落石災害は、素因としての地質特性や凍結融解・雨水浸透により岩盤が劣化した結果、亀裂の発達した岩盤から岩塊が抜け落ちるなどして落石となるのはよく知られている。この際、落石誘因としては気象条件（雨・風・雪・温度）や地震が様々に重なり合うことはよく知られているが、風に関する因子の説明はほとんどない¹⁾²⁾。これは、風が単独因子としての落石誘因となるわけではなく、風により樹木等が揺れる振動が、き裂の発達した岩盤に振動を与えることで岩塊が抜け落ちるためと考えられる。このため同じように緩んだ岩盤であっても、落石発生源周辺の樹木（植生）の状態によっては、落石が発生する危険性が異なることを意味する。そこで本研究は、これまで取り上げられなかった風に着目し、樹木を揺らす風の影響が地盤に与える振動を計測し³⁾、落石発生因子としての風・樹木の間関係を検討することとした。本報告では、風による樹木振動が地盤に振動を与えること、風と地盤振動の大きさの関係、樹木からの距離、方向性の相関と、土砂地盤と岩盤地盤の異なった地盤で計測を行うことで、地盤の種類による地盤特性の違いについても明らかにしたことを報告する。

* 大学院学生

2. 地盤の振動計測の概要

風力を受けた樹木によって地盤にどのような振動が伝達されるかを調べるために異なる2つの地盤で、振動計測を行った。地盤振動の把握には、軽量で安価な加速度計（Geo-stick）を利用することで、実際の現地計測でも容易に利用できる手法を採用した。

風は、一般的に季節によっても地形条件等などによって、風速、風向がめまぐるしく異なることがある。このため、付近に建物や斜面が存在することにより、風向がほぼ一定となるような条件下で、どのような風が樹木を揺らし地盤に振動が伝達されるかを把握するようにした。

2.1 土砂地盤での振動計測

本研究では、落石を対象としているが、今回、未固結地盤である土砂地盤で樹木根による振動を比較対象として計測を行った。この土砂地盤での振動実験では、樹高約3mの単独木を選定し、強風が予測される台風時に計測を行った。振動計の配置図を図-1に示す。

2.2 岩盤地盤での振動計測

土砂地盤での振動計測の後に、落石の危険性を含み異方性に富んだ岩盤部での振動特性計測を行った。岩盤での振動計測は、研究条件に合致するような自然斜面内の岩盤露頭での実験が困難であるため、採石場の切土のり肩付近で行った。実験では、予め周辺の山地地形を観察し、一定方向からの風を受ける地点を選定した。できるだけ落石災害が生じているような斜面と条件が合うように、低木の疎林内にやや高木の樹木が単独で存在するような条件を設定し振動計測を実施した。振動計の配置図を図-2に示す。



図-1 振動計配置図（土砂地盤）

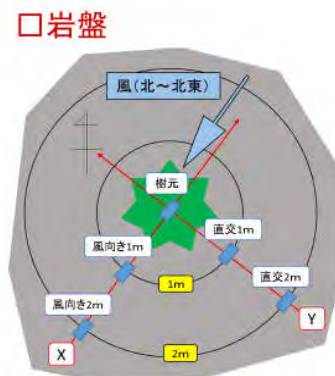


図-2 振動計配置図（岩盤地盤）

3. 計測結果と考察

土砂地盤と岩盤地盤、それぞれで風による樹木が地盤に与える地盤振動の加速度の方向と大きさを示す加速度チャートの作成、フーリエ解析を行い、風と地盤振動の方向性、地盤の揺れやすさ、卓越する周波数等の検討を行った。また、落石発生しやすいと考えられる岩盤に対しては、鉛直方向の加速度に関しても整理を行った。

3.1 土砂地盤での振動結果と考察

土砂地盤での計測は、図-3に示すように、断続的な一定方向の強風下（最大風速7.1m/s）で行った。常に1m/s以上の風が観測されており、ほぼ一定の北西風であった。

土砂地盤でのフーリエ解析の結果を、図-4に示す。常時微動は差し引きして検討を行っている。X軸

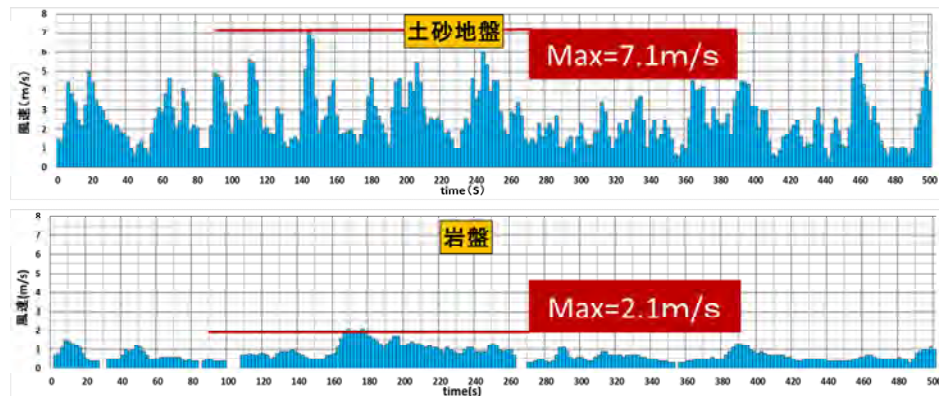


図-3 風速グラフ

方向（風向き方向）を検討対象としたところ、今回、樹木根を介する地盤振動は、土砂地盤では 0.7Hz 付近で卓越する周波数が現れることが推測される。

図-5 に、加速度(gal)の大きさと X, Y 平面（X 方向は風向き）における加速度方向を示す加速度チャートを示す。この結果から、風向きと振動方向の中に相関性が見られる。また、加速度の大きさを比較すると、樹木の地点よりも樹木から 1m 離れた地点の方が大きい加速度を示している。樹木の地点での加速度の方が樹木から離れた地点よりも大きな加速度が見られることが一般的であると考えられるが、今回の計測では、そうではない。この考察としては、振動には樹木根の働きが大きく影響していることが考えられる。そのように考えることから、今回ターゲットとした樹木は、範囲が 1m 程度の根の広がりであると推察され、それより離れた地点の 2m では、減衰傾向が見られる。

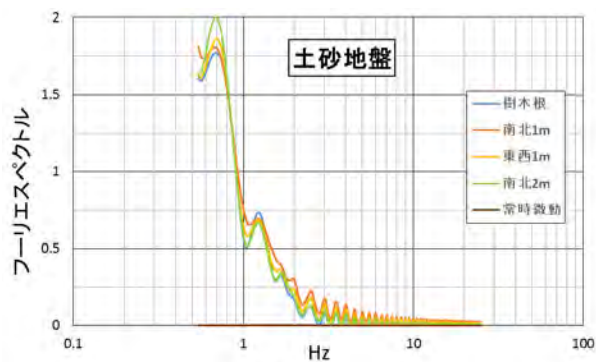


図-4 フーリエ解析（土砂地盤）

3.2 岩盤地盤での振動結果と考察

岩盤部での振動計測は、図-6 に示す地形条件の採石場内にて実施した。ある程度の風速が得られ、周辺での重機振動を除外するために作業休止時間にて実験を実施せざるを得なかった。土砂地盤での実験時と異なり、あまり強風が観測されなかった（図-3 参照）。また、後に記すフーリエ解析結果と加速度チャートより、風向き 2m 地点では他の地点に比べ表土厚が非常に薄く、岩盤に近い地点と推察する。

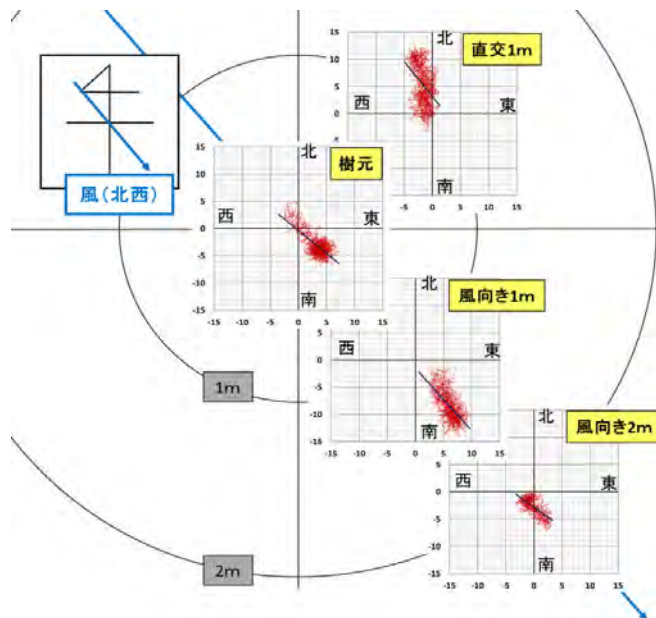


図-5 加速度チャート（土砂地盤）

落石誘因としての樹木根を介した風による地盤振動

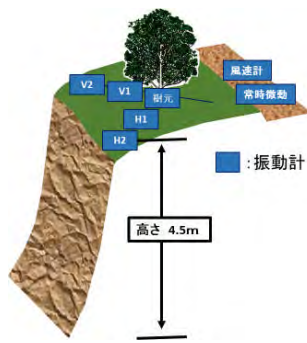


図-6 採石場計測図

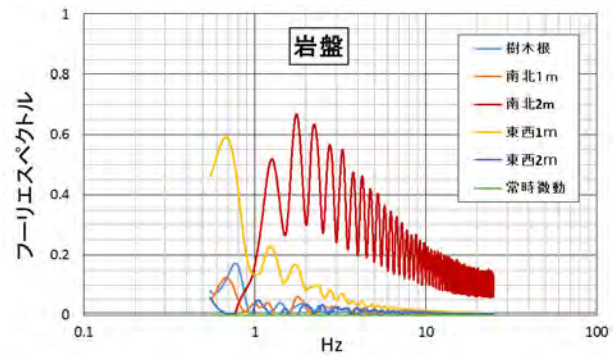


図-7 フーリエ解析（岩盤地盤）

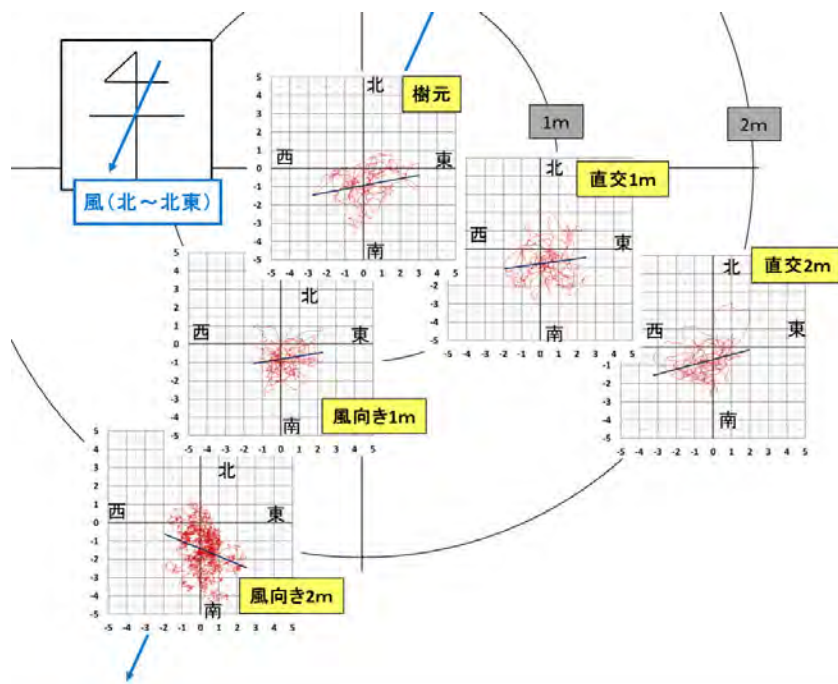


図-8 加速度チャート（岩盤地盤）

土砂地盤同様に、X 方向（風向き方向）を検討対象とし、フーリエ解析をした結果を図-7 に示す。

同じく常時微動は差し引きして検討を行った。0.7Hz または 0.8Hz 付近に卓越する振動が観測できたが、風向きと同じ北東 2m 地点では、1.8Hz で卓越周波数が見られる結果となった。これらより樹木根を介する地盤振動は、土砂地盤、岩盤地盤共に 0.7Hz 付近で卓越する周期が現れることが推測され、岩盤に近い地点での高い周波数になり、一般的な傾向と一致することがわかる。

図-8 に、加速度の大きさと X, Y 平面（X 方向風向き）における加速度方向を示す加速度チャートを示す。風が弱かった為、計測時の中で最も風速が得られた 1 分間を抽出し検討を行った。原点より下向きに加速度の軌跡が多く見られることから、土砂地盤と同様に風向きと振動方向の相関性を得られる。また、土砂地盤で見られた 1m 地点で加速度が最大となる現象は岩盤では見られない結果となったこと、風向き 2m 地点では、加速度が大きく増幅を示していることも判明した。

鉛直方向の検討をするために、樹元、風向き 1m、風向き 2m の風向き方向、風向きに対して直交方

向, 鉛直方向の比較をしたグラフを図-9,10,11 に示す. 風向き 2m 地点に注目をし, 加速度が鉛直上向きに加わっている時間が風向き方向, 風向きに対して直交方向や他の地点と比較して非常に多いことが見て取れる (図-12, 黒線参照).

また, 図-12 からは, 樹木からの距離と最大加速度・最小加速度の関係が示され, 最大値・最小値は他の振動計と比較しても突出している訳ではない. 今回の計測からは, 最大値・最小値よりも断続して加わる力の方が注目すべき点ではないかと考えられ, 鉛直上向きの力が断続して加わることで落石を引き起こす岩盤の劣化に繋がる. そして, 劣化した岩盤にある一定値以上の力が加わることで, 落石を引き起こす原因となると考える.

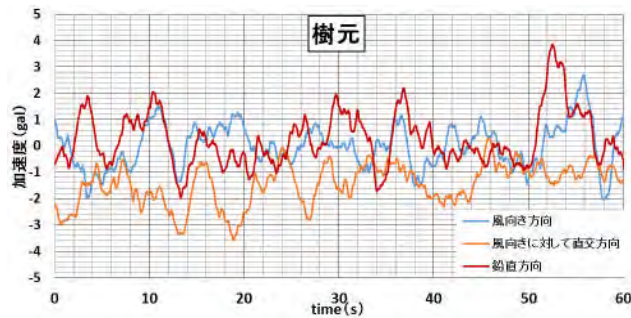


図-9 3 方向の加速度の時刻歴 (樹元)

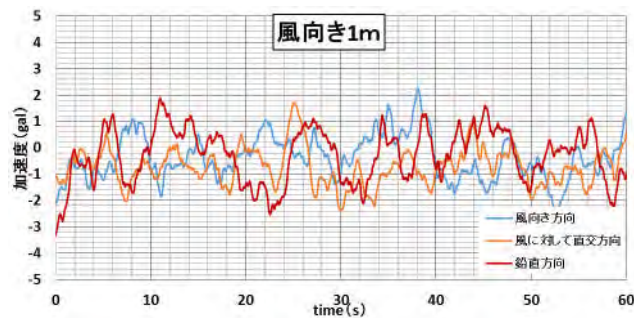


図-10 3 方向の加速度の時刻歴 (風向き 1m)

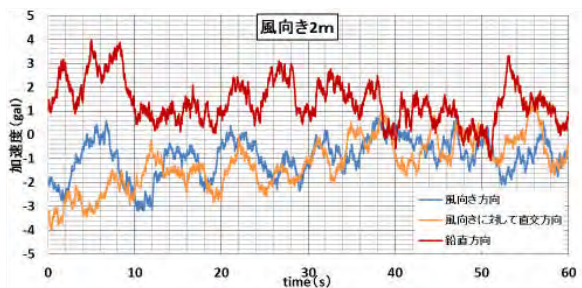


図-11 3 方向の加速度の時刻歴 (風向き 2m)

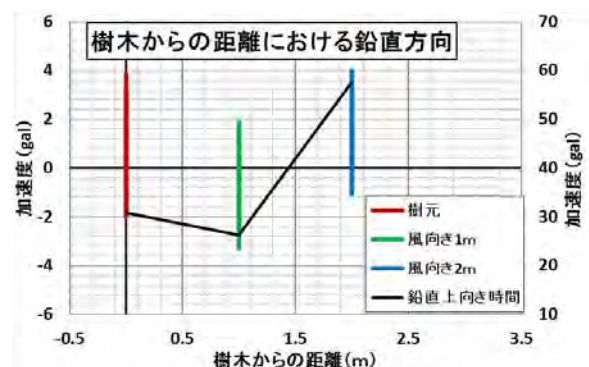


図-12 樹木からの距離における鉛直方向の比較

4. 落石発生データと気象データ

4.1 岐阜県の道路パトロールデータ

岐阜県全体で 2010 年 7 月～2014 年 9 月までの車道路面（6605 個）・歩道路面(91 個)・待機所ポケットパーク（9 個）で発見された落石の個数は 6705 個であった。2010 年から 7 月から 1 週間おきに実施されている道路パトロールで発見された小落石を含める約 3 年間分データであるが、気象データとの整理が必要なため、本報告では図-13 に示す郡上市を対象に実施した。落石データでは、車道路面・歩道路面・待機所ポケットパークで発見されたデータで、落石箇所、落石発見日、落石状況（大きさ、個数）、足跡などから獣害要因などが含まれており、場所と落石発生を 1 週間内で特定化することができる。



図-13 対象地域

4.2 気象データ

郡上市には八幡と長滝の 2 地点気象庁のアメダス観測点があり、気象データを正確なものにするために図-14 のように地域分けを行った。気象データは、最大風速以外に、降雨量、気温、地震観測データを調べた。気象データは落石発見日も含めた 7 日間前の気象データ(最大風速・降雨量)から最大値を使用した。今回は、風と落石の関係を検証することから、地震や降雨、獣害によるものは極力省くために、以下のように判断基準を設けてデータを整理した。【降雨】1 時間 15mm 以上・連続時間 90mm 以上は降雨を誘因として、【地震】震度 1 以上が観測された場合、地震を誘因とした。なるべく降雨、地震として処理する形にして風による誘因が過剰にならないように配慮した。また、1 年間の風速大きさ、凍結融解の要因を考慮して、豪雨時期を避け、2 月～5 月と 11 月の時期に絞った。

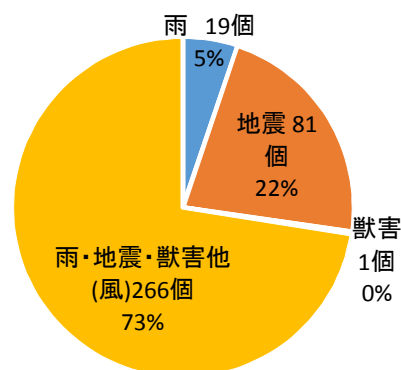


図-14 郡上市の落石誘因

4.3 落石の誘因の傾向

郡上市は 2010 年 7 月～2014 年 9 月までの個数は 883 個であった。その内今回使用する個数は 367 個であり、前述の判断基準を用いて整理した結果が、図-14 となる。雨・地震・獣害以外と考えられるデータは 73%（266 個）となった。獣害は記録があるものだけなので、完全に排除されていると言えないが、凍結融解による緩みと風の影響が大きいことが推察される。

4.4 日当たりの最大風速と落石の関係

4.1.1. 落石数と日当たりの最大風速

図-15 および図-16 に、落石数と日当たりの最大風速を示した。

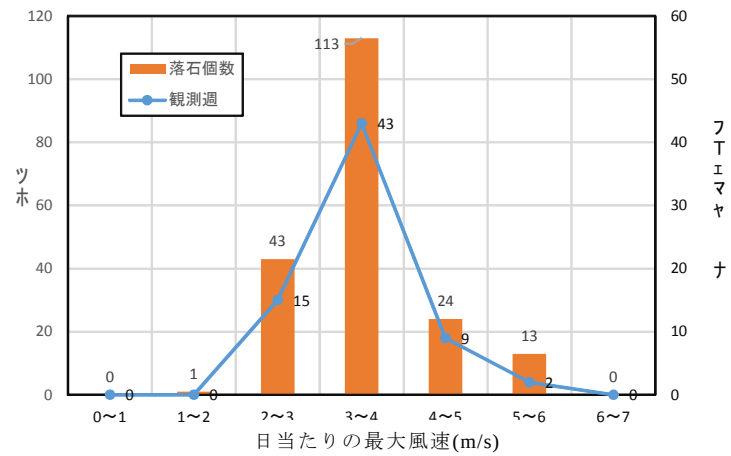


図-15 八幡の落石と日当たりの最大風速の関係

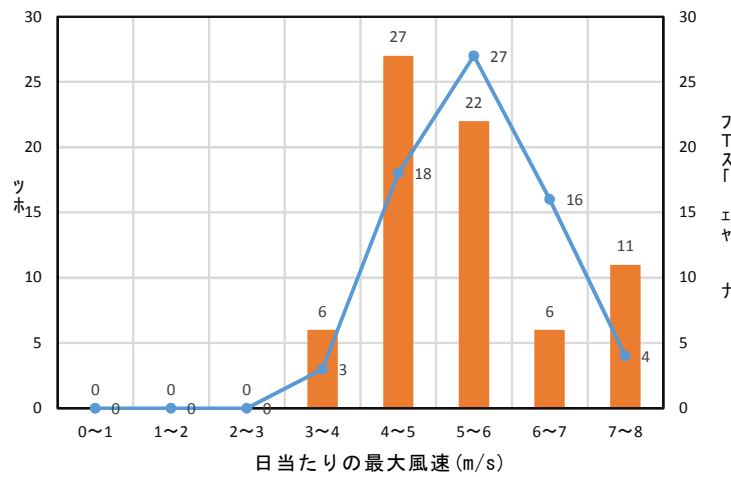


図-16 長滝の落石と日当たりの最大風速

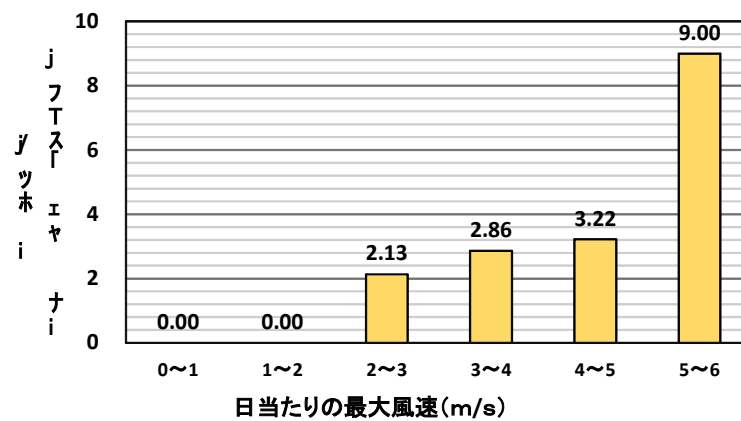


図-17 八幡での最大風速発生日における落石の発生率

最大風速と落石数の相関が見られ、3-4m/s の最大風速を越えると落石個数が増えることがこの図-15、16 から推察される。

4.1.2. 最大風速発生日における落石の発生率

図-17 は落石個数と最大風速の発生日数を比で表した。最大風速が大きくなるにつれて数値も大きくなっている。風速が上がることで落石の個数も増えるのではないかと考える。今回わかったことは八幡と長滝では長滝の方が日当たりの最大風速は大きいのに落石の個数が少なかった。

5. おわりに

今回、樹木根を介した地盤振動の計測及び道路パトロールによる落石データの分析から、以下のよう
な知見が得られた。

- (1) 土砂地盤と岩盤地盤のどちらの地盤でも、方向性（風向きと加速度方向）の相関性を得られた。
- (2) 土砂地盤と岩盤地盤を比較すると、樹木根を介する地盤振動は、岩盤地盤の方が大きな加速度を示すことが考えられる。
- (3) 岩盤地盤計測での風向き 2m 地点（表土が薄い地点）は、強風時にほかの地点と比較すると大きく鉛直方向の加速度を示すことが確認され、今後の現地計測で原因を明らかにしていく必要がある。
- (4) 鉛直方向の加速度より、最大値・最小値は各測点で大きな差は見られなかったのに対し、風向き 2m 地点（表土が薄い地点）に鉛直上向きに断続的に力が働く特徴が現れ、この特徴は、岩盤の劣化に繋がっていくと考えられる。
- (5) 本報告では、郡上市だけであるが、風速と落石の実際のデータを比較し、風が誘因となることについて検討を行った。さらなる他の地域の分析も必要であるが、風も落石の一つとなることが明らかとなった。

謝辞

今回、道路データをご提供いただきまし岐阜県県土整備部の関係者各位に記して謝意を表します。また本研究は中部大学総合研究所（第 6 部門）の補助を受けた。

参考文献

- 1) 浅野憲雄・杉井俊夫・山田公夫：地形解析による落石発生源の特定手法の検討，土木学会全国大会，土木学会第 66 回学術講演会講演概要集，pp.589-590，2011.
- 2) 大塚泰洋・杉山太宏・赤石勝：風荷重による模型樹木の振動実験，土木学会第 56 回年次学術講演会，2001.
- 3) 浅野憲雄，杉井俊夫，余川弘至，市川夏輝樹木根を介した風による地盤振動，第 59 回地盤工学シンポジウム平成 26 年度論文集，pp.535-538，2014.
- 4) 日本道路協会：落石対策便覧，pp.7，2000.